

**Stefan Skiba**

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ  
ul. Gronostajowa 7, 30–387 Kraków  
s.skiba@iphils.uj.edu.pl

**Barbara Kubica**

Instytut Fizyki Jądrowej  
ul. Radzikowskiego 152, 31–342 Kraków

**Michał Skiba**

Instytut Nauk Geologicznych UJ  
ul. Oleandry 2A, 30-063 Kraków

*Received: 14.07.2005*

*Reviewed: 20.07.2005*

## ZAWARTOŚĆ GAMMA RADIONUKLIDÓW $^{137}\text{Cs}$ i $^{40}\text{K}$ W GLEBACH PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ CZĘŚCI CZARNOHORY, KARPATY WSCHODNIE, UKRAINA

Content of the  $\gamma$ -radionuclides of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in the soils  
of north-western part of the Czarnohora Mts.,  
Eastern Carpathians, Ukraine

**Abstract:** The presented results concern the soils of the Czarnohora Mts in the area: Pożyżevska (1822 m a.s.l.) – Zaroślak (1250 m a.s.l.). The results show a considerably small contamination of the researched soils with radionuclides. Higher ratio of the studied radionuclides was determined in the summit part of the Pożyżevska and smaller amount was found in the spruce forest of the Breskul slopes over Zaroślak.

### Wprowadzenie

Środowisko przyrodnicze często ulega zanieczyszczeniom, zarówno chemicznym jak i mechanicznym. Szczególny rodzaj skażeń stanowią pierwiastki promieniotwórcze. Niektóre z nich znalazły się w środowisku Ziemi w momencie jej tworzenia i część z nich pozostała do chwili obecnej. Stanowią one grupę naturalnych izotopów promieniotwórczych, istniejących i tolerowanych w środowisku biologicznym, np.  $^{40}\text{K}$ . Istotnym problemem w aspekcie ochrony środowiska są sztuczne radioizotopy, czyli te wyprodukowane przez człowieka, np.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  i  $^{241}\text{Am}$ . W wyniku badań jądrowych prowadzonych przez supermocarstwa w latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia, a także po awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu, tereny położone w Europie (zwłaszcza wschodniej i środkowej) zostały skażone  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -radioizotopami.

W skorupie ziemskiej znajduje się 60 naturalnych radionuklidów, a dodatkowych kilkanaście jest wytworzonych przez promieniowanie kosmiczne (Hryniewicz 1993). Oprócz tego typu radioizotopów otoczenie ulega także skażeniom pierwiastkami promieniotwórczymi, powstającymi wskutek działalności człowieka. Głównym źródłem ich obecności są: wybuchy jądrowe prowadzone w atmosferze, katastrofy reaktorów, przeróbka i składowanie paliwa jądrowego.

W wyniku wybuchu, a następnie pożaru reaktora jądrowego w Czarnobylu, do atmosfery przedostało się kilkadziesiąt izotopów promieniotwórczych o łącznej aktywności przekraczającej  $10^{19}$  Bq. Po katastrofie czarnobylskiej można rozróżnić dwa rodzaje składu izotopowego skażeń promieniotwórczych: opad „typu paliwowego” i „typu kondensacyjnego” (Krasnov 1998).

Typ paliwowy charakteryzuje się obecnością izotopów promieniotwórczych trudnotopliwych, nielotnych pierwiastków takich jak pluton i inne transuranowce oraz cer, europ, niob, cyrkon, ruten i stront. Skład ten związany jest z obecnością znacznych ilości drobnych fragmentów paliwa jądrowego – tzw. „gorących cząstek typu paliwowego” (Broda 1987; Broda i inni 1989).

W opadzie kondensacyjnym, obserwowanym na znacznym obszarze Polski, dominującym „długo życiowym izotopem” jest  $^{137}\text{Cs}$ .

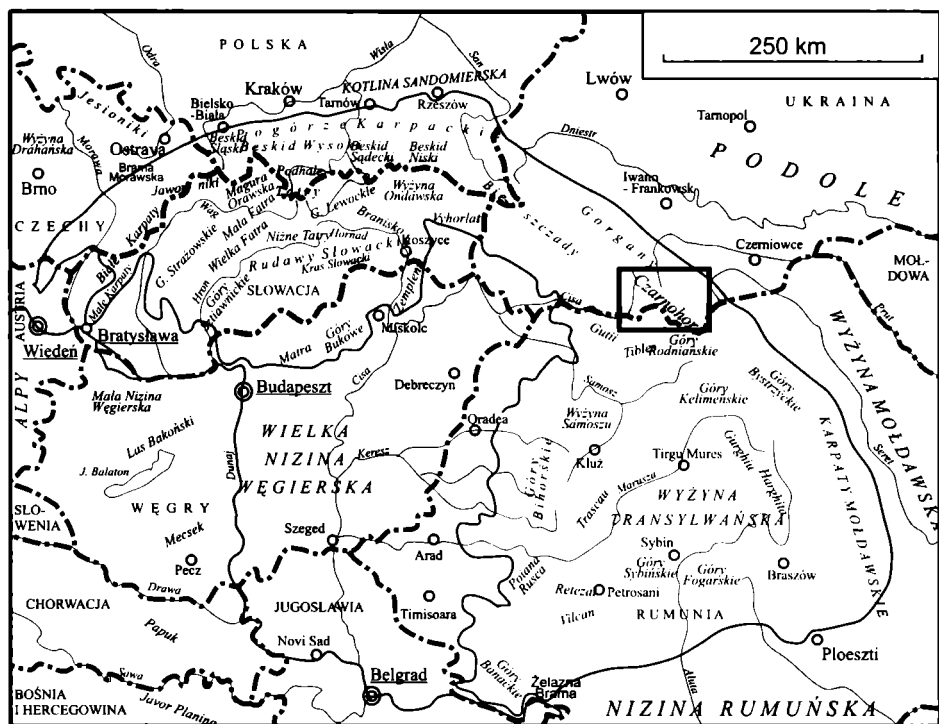
W Pracowni Chemii i Radiochemii IFJ PAN w Krakowie prowadzone są od 2000 roku badania określające stężenie gamma radionuklidów sztucznego  $^{137}\text{Cs}$  i naturalnego  $^{40}\text{K}$  w próbkach gleby i wybranych roślin, zebranych na całym obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego (Kubica i inni 2002, 2004).

Podobnie, jak w badaniach tatrzańskich brano pod uwagę zmiany koncentracji wyżej wymienionych radioizotopów w zależności od wysokości n.p.m. miejsca, z którego była pobierana próbka, formy terenu, jak i właściwości gleby.

## Materiał i metodyka

Przeprowadzono badania stężenia gamma emiterów cezu i potasu w próbkach gleby, pobranych na terenie Czarnohory (Ryc. 1) (Skiba i in. 2005). Badane próbki gleby były pobrane z profili glebowych: odkrywka nr 1 (ranker butwinowy – *Umbric Leptosol*) reprezentuje roślinność *Juncetum trifidi-Vaccinietum myrtilli* kopuły szczytowej Pożyżewskiej (1822 m n.p.m.); odkrywka nr 4 (gleba brunatna kwaśna – *Dystric Cambisol*) reprezentuje bór górmoreglowy *Plagiothecio-Piceetum myrtilli* stoków Breskuła (1250 m n.p.m.). Badano również stropowe poziomy gleb zarośli kosodrzewiny *Pinetum mughi* – odkrywka nr 2; *Ofh* (0–6 cm), oraz zarośla olchy kosej *Pulmonario-Alnetum* – odkrywka nr 3; *A* (0–10 cm).

Rankery butwinowe (odkrywka nr 1) charakteryzują się mięszszym poziomem organicznym *Ofh+Oh* mierzącym łącznie 25 cm, a poniżej występuje zwietrzały



Ryc. 1. Czarnohora na tle podziału Karpat (Kondracki 1989).

Fig. 1. Czarnohora Mts in the Carpathians (after Kondracki 1989).

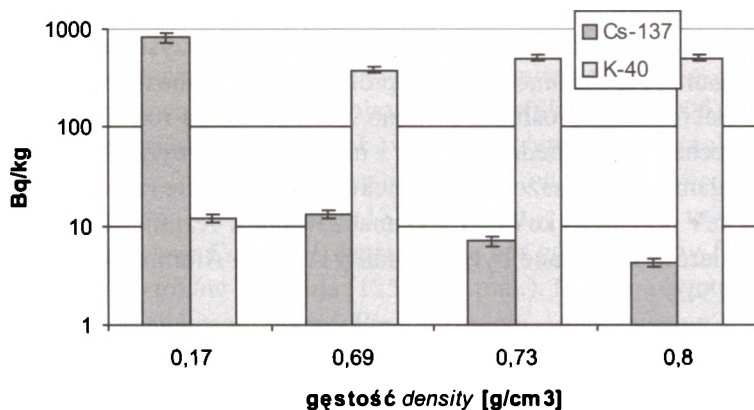
regolit skały macierzystej (*A/C/R*). Gleba brunatna kwaśna (odkrywka nr 2) rozpoczyna się płytszym (0–3 cm) poziomem ektohumusowym (butwinowym *Ofh*) i następnie poziomem próchnicznym (endohumusowym – *A*) o miąższości 3–12 cm, poniżej występuje wietrzeniowy poziom brunatnienia (cambic – *Bbr*), który stopniowo przechodzi w wietrzeniowy poziom skały macierzystej *Bbr/C*.

Do badań gamma spektrometrycznych próbki były poddane typowej procedurze: usuwano makroszczałki roślinne, suszono w temperaturze 105° C i przesiewano przez sита mechaniczne o średnicy oczek 1 mm. Następnie były analizowane na spektrometrze gamma wyposażonym w detektor Silena HPGe (wydajność 10%, FWHM = 1.8 keV przy 1173 keV). Próbkę analizowano w reżimie 72 godzinnym. W trakcie pomiarów stosowane były standardy Agencji Atomistyki w Wiedniu IAEA i IAEA-154.

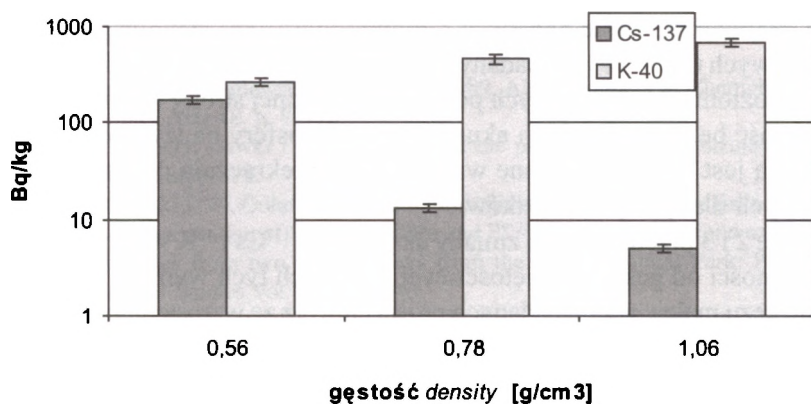
Pomiary spektrometryczne pozwoliły na określenie rozkładu badanych radioizotopów w poszczególnych poziomach badanych gleb. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na wykresach (Ryc. 2–4).

**Tabela 1.** Zawartość  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  oraz gęstość badanych gleb.  
**Table 1.** Content of the  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  and bulk density investigated soils.

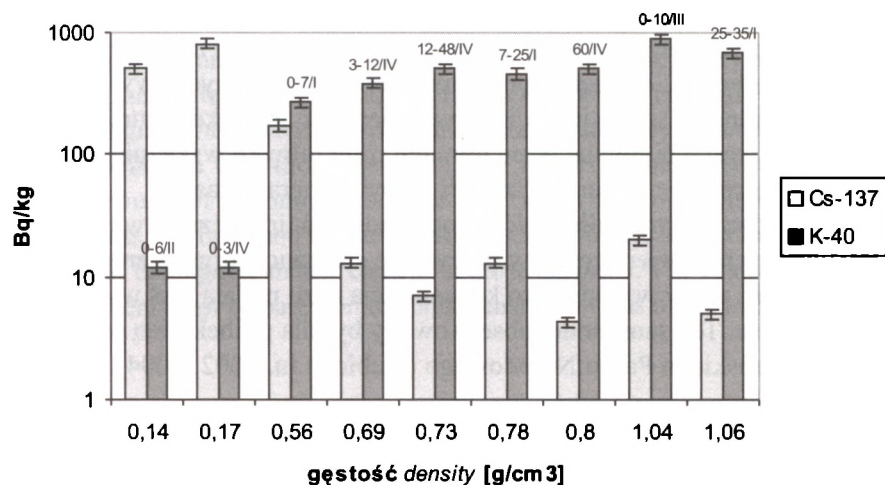
Odkrywka nr i poziom [cm] <i>Profile No and level [cm]</i>	$^{137}\text{Cs}$ [Bq/kg] suchej masy <i>Bq/kg of dry mass</i>	$^{40}\text{K}$ [Bq/kg] suchej masy <i>Bq/kg of dry mass</i>	m [g]	D [g/cm <sup>3</sup> ]
1. Pożyżewska 1822 m n.p.m., <i>Juncetum trifidi-Vaccinietum myrtilli</i>				
Ofh (0-7 cm)	172,5±3,1	268±12	25,3	0,56
Oh (0-25 cm)	13,45±1,1	455,9±19	45,2	0,78
A/C/R (5-35 cm)	5±1	674,7±28	43,6	1,06
4. stoki (slopes) Breskuła, 1250 m n.p.m., <i>Plagiothecio-Piceetum myrtilli</i>				
Ofh (0-3 cm)	811,23±6,1	12,3±2	20,6	0,17
A (0-12 cm)	12,9±1,2	382,7±16	39,5	0,69
Bbr (2-48 cm)	6,7±1,2	508±21	36,65	0,73
Bbr/C (8-60 cm)	4,3±1	507,24±21	M=45,85	0,80
2. Pożyżewska, 1700 m n.p.m., <i>Pinetum mughi</i>				
Ofh (0-6cm)	505,6±5,14	<12	17,35	0,14
3. Pożyżewska, 1650 m n.p.m., <i>Pulmonario-Alnetum</i>				
ACgg (0-10cm)	20,05±2	882,76±38	72,85	1,04



**Ryc. 2.** Zależność aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  od gęstości gleby dla profilu nr 4.  
**Fig. 2.** Content of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  and bulk density of soil in profile no. 4.



**Ryc. 3.** Zależność aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  od gęstości gleby dla próbek profilu nr 1.  
**Fig. 3.** Content of the  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  and bulk density in profile no. 1.



**Ryc. 4.** Zależność aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  od gęstości gleby dla wszystkich badanych próbek.  
**Fig. 4.** Content of the  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  and bulk density in all investigated samples.

Uzyskane wyniki (Tab. 1) przedstawiają zawartość  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  w badanych glebach, zarówno w poziomach stropowych, jak i ich rozmieszczenie w profilu glebowym. Największe ilości badanych radionuklidów oznaczano w poziomach powierzchniowych (stropowych) badanych gleb. Podwyższone wartości tych pierwiastków w poziomach organicznych podkreślają z jednej strony ich stropowość, czyli możliwość bezpośredniej ich akumulacji z atmosfery na tzw. powierzchni zbiorczej, jaką jest gleba. Uzyskane wartości nie przekraczają dopuszczalnych norm przyjętych dla tych pierwiastków.

Na rycinie 2 i 3 przedstawiono zmiany aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{40}\text{K}$  w badanych glebach, w zależności od gęstości objętościowej. Z danych tych wynika, że stężenie radionuklidu cezu maleje w obu badanych profilach wraz ze wzrostem gęstości oraz ze wzrostem głębokości, z jakiej próbka była pobierana. Sztuczny radionuklid cezu chętnie wiązany jest przez substancję organiczną budującą poziomy akumulacyjny badanych gleb. W miarę wzrostu gęstości gleby, co jest równoznaczne ze zmniejszaniem się ilości materii organicznej, zawartość cezu ulega wyraźnemu obniżeniu. Potas zachowuje tendencję proporcjonalną; ze wzrostem gęstości gleby rośnie zawartość naturalnego potasu, bowiem w częściach mineralnych gleby występują składniki np. skalenie potasowe, miki, minerały ilaste, które zawierają lub sorbują potas.

Wszystkie badane próbki gleby, zarówno te pobrane z profili jak i próbki analizowane z powierzchniowych (stropowych) poziomów (Ryc. 4) potwierdzają fakt sorpcji radionuklidu cezu w poziomach powierzchniowych. Wynika to z rozwiniętych zdolności sorpcyjnych i jonowymiennych związków humusowych.

Wyższe wartości potasu w poziomach mineralnych wskazują na większe możliwości sorpcyjne mineralnej części gleby (minerały ilaste).

Potwierdza się prawidłowość sorpcji radionuklidu cezu w warstwach powierzchniowych, zawierających w przewodzie substancje organiczne. Im gęstość badanej próbki gleby wzrastała, to koncentracja cezu malała, zaś wyraźnie rosło stężenie potasu. Ten sam model obserwowany był dla próbek gleb pobranych na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego (Kubica i in. 2002, 2004).

#### Wnioski

1. Badania zawartości radionuklidów glebach Czarnohory wykazały niewielkie stężenie tych pierwiastków w glebach badanego terenu.
2. Podwyższone ilości radionuklidów w stropowych poziomach badanych gleb wynikają z jednej strony z udziału materii organicznej o dużych zdolnościach sorpcyjnych i jonowymiennych, z drugiej zaś z gęstości objętościowej badanej próbki organicznej.
3. Ocena zawartości tych pierwiastków w glebie musi być oparta na gęstości objętościowej badanej próbki gleb.

## Literatura

- Broda R. 1987. Gamma spectroscopy analysis of hot particles from the Chernobyl fallout, *Acta Physica Polonica* vol. B 18, No 10: 935–950.
- Broda R., Kubica B., Szegłowski Z., Zuber K., 1989. Alpha Emitters in Chernobyl Hot Particles, *Radiochemica Acta* 48, p. 89–96.
- Hryniewicz A. 1993. Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego. Państwowa Agencja Atomistyki JFJ.
- Kubica B., Mietelski J. W., Gołaś J., Skiba S., Tomankiewicz E., Gaca P., Jasińska M., Tuteja-Krysa M. 2002. Concentration of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  radionuclides and some heavy metals in soil samples from two main valleys from the Tatra National Park: *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 11: 537–545.
- Kubica B., Skiba S., Mietelski J. W., Gołaś J., Kubica M., Stobiński M., Tuteja-Krysa M., Tomankiewicz E., Gaca P., Krzan Z. 2004. Transect survey artificial  $^{137}\text{Cs}$  and natural  $^{40}\text{K}$  in moss and bilberry leaf samples from Two main Valleys from Tatra National Park, *Polish Journal of Environmental Studies* no. 2, Vol.13: 153–159.
- Krasnov W. P. 1998. Radioekologia lisiw Polissja Ukrainy. Wyd. Wołyn – Zhytomyr, 112 ss.
- Skiba S., Skiba M., Pozniak S. 2005. Gleby północno-zachodniej części Czarnohory, Karpaty Wschodnie, Ukraina. *Roczniki Bieszczadzkie* 13: 311–324.

## Summary

Radionuclides are a special kind of chemical pollution. They were released to the atmosphere after the Tschernobyl disaster (Ukraine). The soils of the highest mountain range of the Eastern Carpathians (Czarnohora) were studied in connection to the pollution with those elements. The results (Table 1) show considerably small amounts of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$ ) in the soils. Bigger amounts of those elements can be found in the surface horizons of the soils studied and they are a result of the organic matter content in those horizons. The evaluation of those elements content must be based on the bulk density analysis of the soil (Figs 1–4).